

ВЛИЯНИЕ ИОННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ЗЕРЕН

Костенко Е.А.¹, Малышева С.П.²

¹Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет,
г. Уфа, K-Kostenko@list.ru

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа

Введение

В последние годы материалы с субмикроструктурной (СМК) структурой рассматриваются как перспективные конструкционные материалы, которые находят свое широкое применение в приоритетных отраслях авиационной промышленности, транспорте и энергетике, в частности для изготовления деталей силовых установок летательных аппаратов. Дополнительное повышение характеристик прочности, износостойкости поверхности и увеличение срока службы изделия достигается путем использования ионного модифицирования (ИМ) поверхности изделия [1]. В связи с этим, в данной работе исследовались механические характеристики образцов титанового сплава ВТ6 с различным размером зерен и влияние на эти характеристики ионного модифицирования поверхности образцов.

Материал и методики исследований

В работе исследуется титановый сплав ВТ6 (6,5 % Al, 5,1 % V, 0,1 % Fe, 0,03 % Si). Для сравнения были взяты два типа микроструктур: СМК структура, полученная всесторонней изотермической ковкой, и микроструктурная (МК), полученная упрочняющей обработкой: закалка с температуры 945 °С и старение при 500 °С в течение 3 часов. Всесторонняя ковка включает в себя ряд последовательных операций осадки и протяжки при постепенном снижении температуры в интервале $T = 800..630$ °С со скоростью деформации 10^{-3} с⁻¹ [2].

Ионное модифицирование предварительно полированной поверхности образцов в СМК и МК состоянии проводилось на ионно-плазменном ускорителе ВИТА в 2 этапа: первый - предварительная бомбардировка потоком низкоэнергетичных ионов аргона с энергией $E = 300$ эВ, доза облучения $D = 10^{19}$ см⁻² и плотность ионного тока $I = 5$ мА/см²; второй – имплантация низкоэнергетичных ионов азота при $E = 300$ эВ, $D = 2 \times 10^{19}$ см⁻² и $I = 20$ мА/см². Имплантированные образцы отжигали в вакууме при остаточном давлении 10^{-3} МПа и температуре 540 °С в течение 2 часов для стабилизации структурно-фазового состояния поверхностного слоя и повышения жаростойкости [3].

Микроструктура образцов исследовалась с помощью оптического микроскопа «Axiovert - 100A» и просвечивающего электронного микроскопа JEM-2000EX. Механические свойства при растяжении измерялись на плоских образцах толщиной 1,5 мм на машине Instron при комнатной температуре. Рентгеноструктурный анализ проводился на ДРОН-3. Микротвердость измеряли на микротвердомере Micromet 5101 (Buehler) при нагрузках: 10, 50, 100 и 300 гр.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлена поверхность микрошлифов сплава ВТ6 после ионного модифицирования.

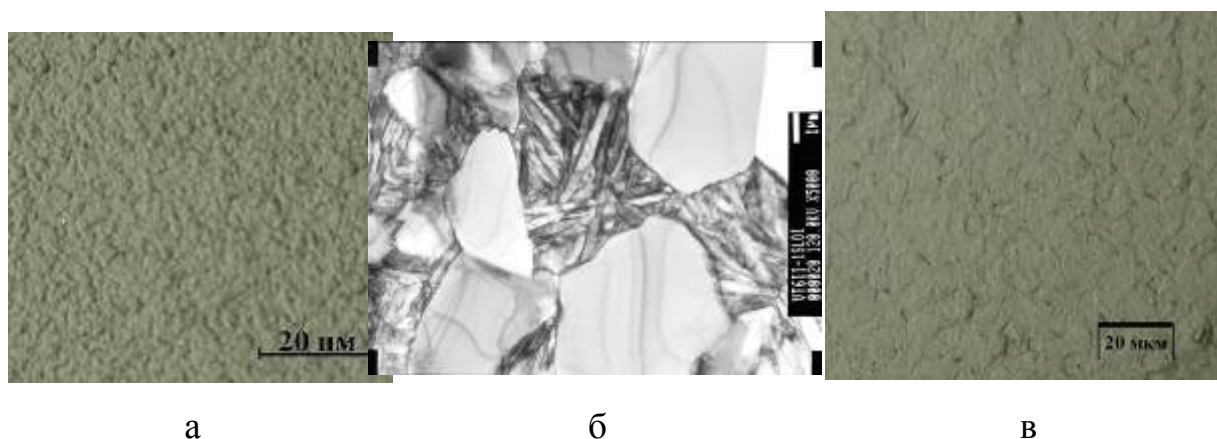


Рисунок 1. Микроструктура имплантированной поверхности сплава ВТ6 (а, б – СМК состояние; в – МК состояние)

Из рисунка 1 видно, что микроструктура однородная, представлена равноосными зёрнами размером 0,6 мкм в СМК состоянии и 8 мкм в МК состоянии. Тонкая микроструктуры сплава ВТ6 в СМК состоянии представлена на рисунке 1,б. Здесь наблюдаются две характерные области: область с пластинчатой структурой и область свободная от пластинчатых выделений. Фазовый состав имплантируемой поверхности, определенный с помощью рентгеноструктурного анализа показал, что в поверхностном слое имеется смесь фаз TiN с кубической решеткой и TiN_x с тетрагональной решеткой. Толщина этого слоя определялась по поперечному сечению образца и составляет ≈ 10 мкм. Согласно [1], при ионном модифицировании азотом сплава ВТ6 вначале происходит образование твердого раствора внедрения азота в α - и β -фазах титана, затем протекает инициированное азотом $\beta \rightarrow \alpha$ -превращение с образованием на поверхности фаз нитридов титана.

На рис. 2 представлен график зависимости микротвердости поверхности сплава ВТ6 в при различных нагрузках на индентор.

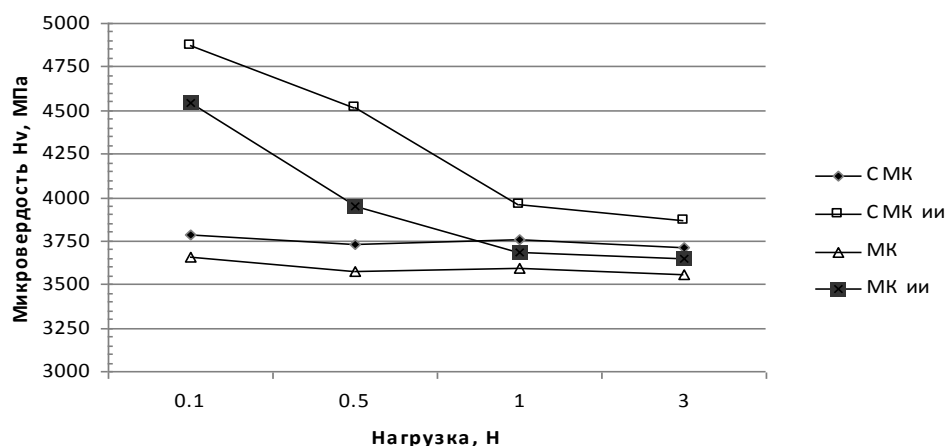


Рисунок 3. Микротвердость поверхности сплава ВТ6 при различных нагрузках на индентор

Из графика видно, что в исходных СМК и МК образцах величина нагрузки на индентор не влияет на значения микротвердости. В образцах после имплантации с увеличением нагрузки на индентор микротвердость уменьшается, что говорит о повышенных значениях микротвердости именно на поверхности образцов. Отметим, что ионное модифицирование значительно увеличивает прочность поверхности образцов как в СМК, так и в МК состоянии: в СМК состоянии микротвердость поверхности увеличилась на 1100 МПа, а в МК состоянии – на 900 МПа. Это связано с образованием на поверхности твердого раствора внедрения азота в α - и β -фазах титана и нитридов титана. В СМК сплаве наблюдается большее упрочнение, вероятно, из-за более глубокого проникновения азота в поверхностные слои.

В таблице 1 приведены механические свойства сплава ВТ6 в различных состояниях.

Таблица 1. Механические свойства титанового сплава ВТ6 в различных состояниях

Состояние	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ψ , %	δ , %
МК	1050	960	32	9
МК+ИМ	966	935	29	8
СМК	1300	1180	60	7
СМК+ИМ	1480	1245	50	7

Сплав с СМК структурой демонстрирует значения прочности на 250 МПа выше по сравнению с МК состоянием (табл. 1). Относительное удлинение в СМК состоянии несколько ниже, чем в МК, но, с другой

стороны, относительное сужение СМК материала почти в 2 раза больше, чем МК сплава. Ионное модифицирование дополнительно повышает прочность СМК сплава (табл. 1), хотя пластичность при этом несколько снижается.

Таким образом, ионное модифицирование оказывает благоприятное воздействие на соотношение прочностных и пластических свойств СМК сплава, приводя к увеличению прочности и сохранению на высоком уровне пластичности по сравнению с МК состоянием.

Список используемых источников:

1. Ю.В. Мартыненко. Эффекты дальнего действия при ионной имплантации // Итоги науки и техники. Серия: Пучки заряженных частиц и твердое тело. - М.: ВИНТИ. - 1993. - Т. 7. - С. 82 - 112.
2. Жеребцов С.В., Галеев Р.М., Валиахметов О.Р., Малышева С.П., Салищев Г.А., Мышляев М.М.. Формирование субмикроструктурной структуры в титановых сплавах интенсивной пластической деформацией и их механические свойства// КШП. 1999, № 7, с. 17-22.
3. Патент РФ № 2117073 МКИ⁶ C23C 14/48. Гусева М.И., Смыслов А.М., Сафин Э.В. и др. Способ модификации поверхности титановых сплавов. Опубликовано 10. 08. 98. Бюл . № 22.